

SI v roce 2018:

Jak soustavu jednotek (ne)poznáme.

Tomáš Rössler

SOUČASNÁ PODOBA SOUSTAVY SI

Základní soustava jednotek SI platící v současnosti

Metr je dráha, kterou světlo urazí ve vakuu za $1/299\,792\,458$ sekundy.

Kilogram je definován jako hmotnost mezinárodního prototypu kilogramu, který je uložen v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy (*Bureau International des Poids et Mesures*) v Sèvres u Paříže.

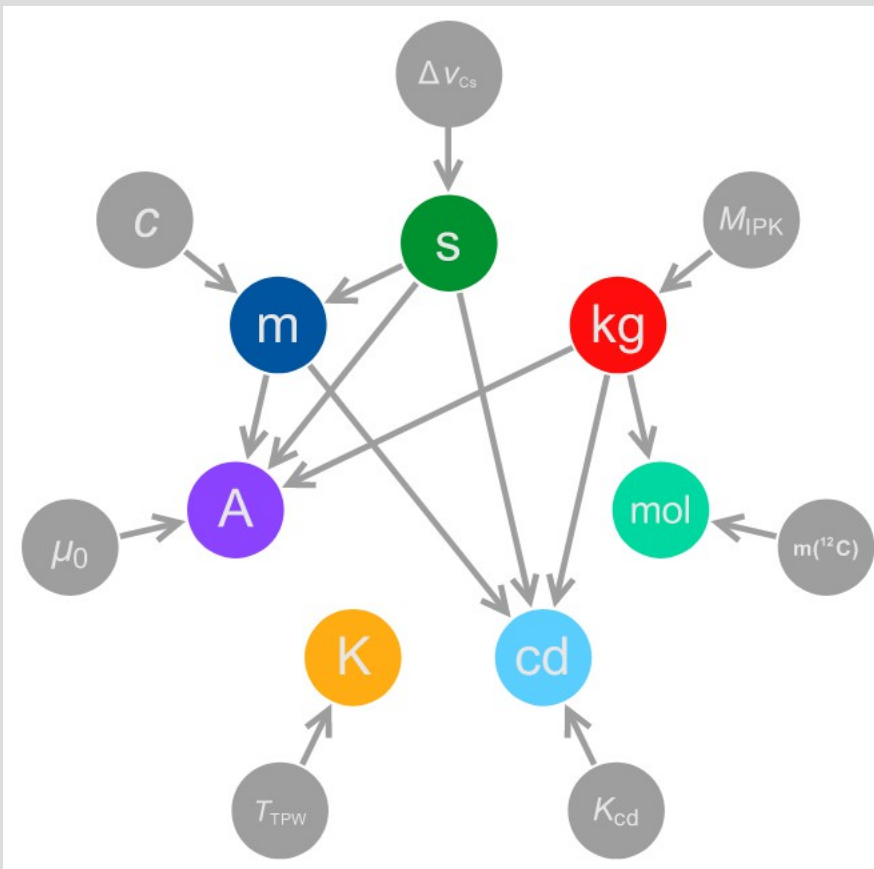
Sekunda je doba trvání $9\,192\,631\,770$ period záření, které odpovídá přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu atomu cesia 133.

Ampér je takový elektrický proud, který vyvolá mezi dvěma rovnoběžnými nekonečně dlouhými vodiči zanedbatelného průřezu umístěnými ve vzdálenosti 1 metr ve vakuu sílu rovnou 2×10^{-7} N na jeden metr délky.

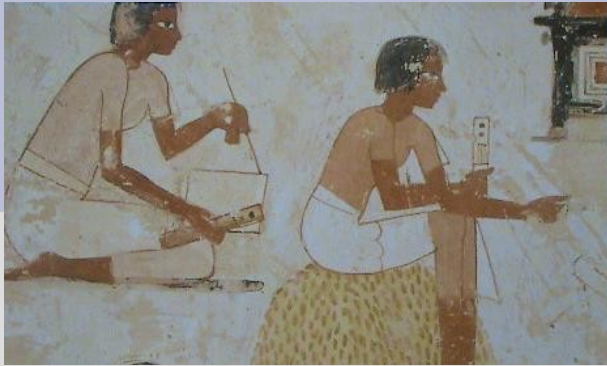
Kelvin je teplota, která odpovídá $1/273,16$ termodynamické teploty trojného bodu vody.

Kandela je svítivost monochromatického zdroje o frekvenci 540×10^{12} Hz, jehož zářivost v daném směru činí $1/683$ wattů na steradián.

Mol je látkové množství, které obsahuje tolik elementárních jedinců, kolik je atomů obsažených v $0,012$ kg uhlíku $^{12}_6\text{C}$.



VÝVOJ JEDNOTEK DÉLKY



délkové míry - prstový systém:

prst = 1,87 cm

dlaň (4 prsty), ruka (5), dvojitá dlaň (8),

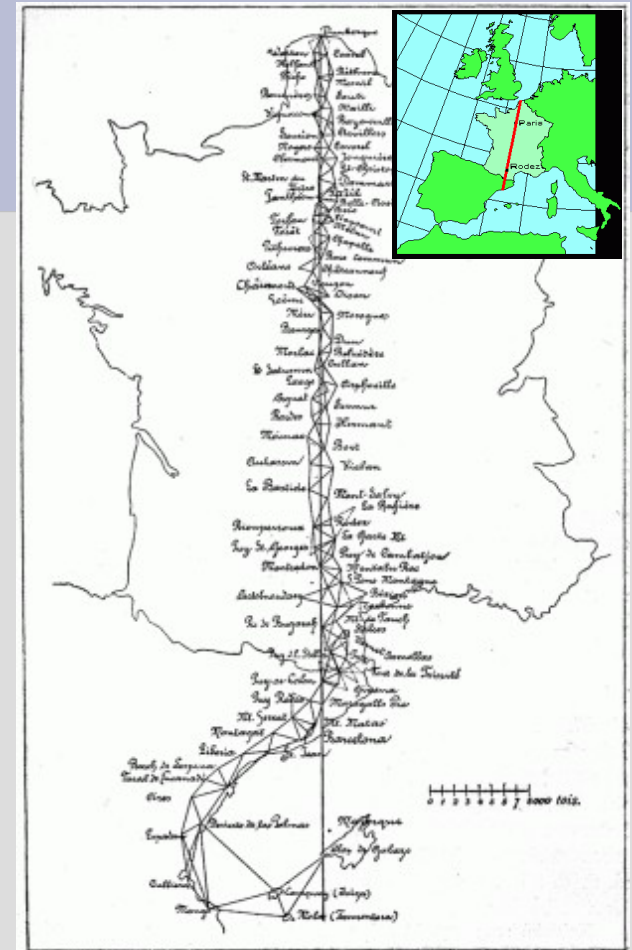
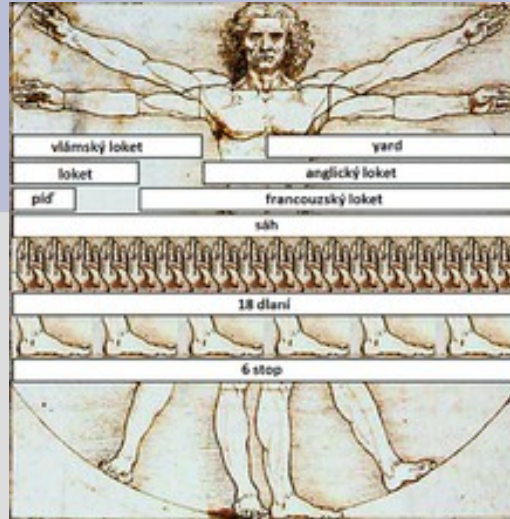
malý loket (24), **královský loket (28)**

délkové míry – unciální systém:

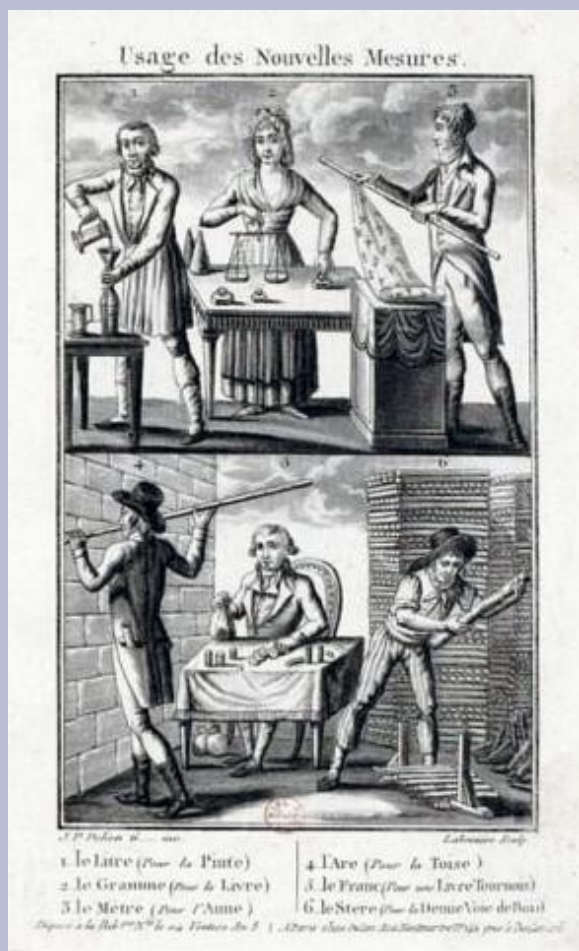
sáh (18 rukou = 1,8 m),

posvátný loket (3 ruce = 30 cm)

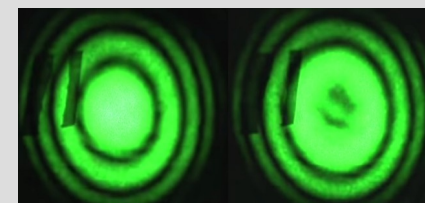
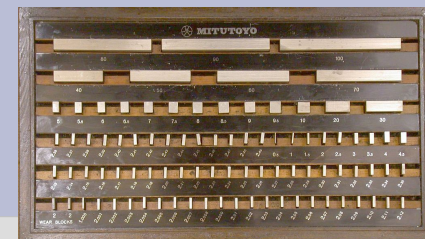
hůl (7 rukou = 70 cm)



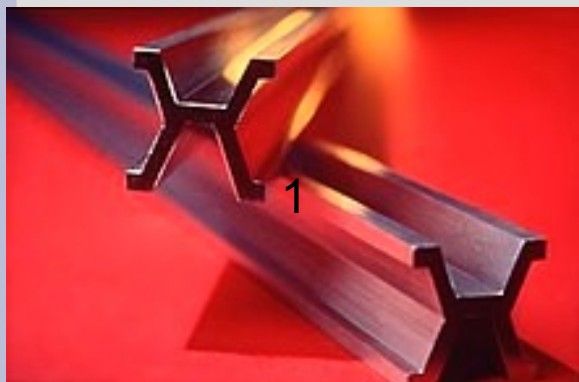
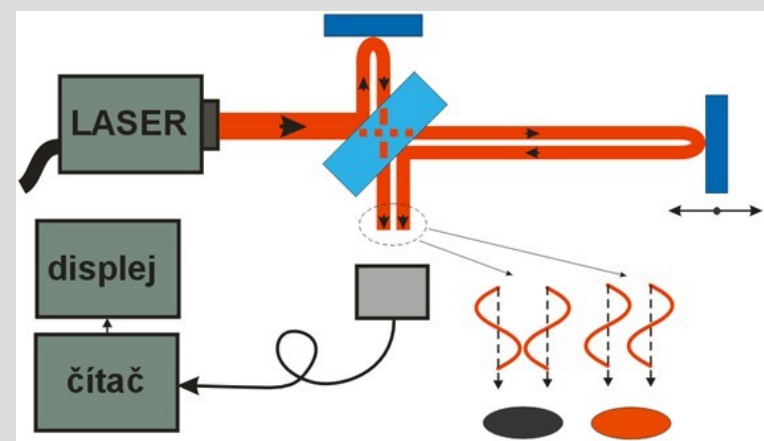
VÝVOJ METRU V SOUSTAVĚ SI



	definice	realizace	mez. etal.		rel. nejistota návaznosti
1799	Meter des Archives	Pt koncová měrka			$> 1 \times 10^{-6}$
1889	Mezinárodní prototyp metru	PtIr čárkové měřítko	Ano		1×10^{-6} 1×10^{-7}
1960	násobek vlnové délky ^{86}Kr ryptonu	Kr výbojka + interferometr	Ne		1×10^{-8} 2×10^{-9}
1983	zafixována hodnota rychlosti světla	laser o známé frekvenci + interferometr nebo dálkoměr	Ne		$< 1 \times 10^{-10}$



$$\lambda = c / f$$



DEFINICE METRU V SOUSTAVĚ SI

1. definice metru (1889, 1. CGPM)

Prototyp metru představuje napříště, při teplotě tání ledu, metrickou jednotku délky.

2. definice metru (1927, 7. CGPM)

Jednotkou délky je metr, definovaný, při 0°C, vzdáleností os dvou středních rysek na platino-iridiové tyči uložené v BIPM, prohlášené za Prototyp metru 1.CGPM, přičemž toto pravidlo platí za normálního atmosférického tlaku při podložení dvěma válečky o průměru alespoň 1 centimetr, umístěnými symetricky v téže vodorovné rovině ve vzdálenosti 571 mm od sebe.

3. definice metru (1960, 11. CGPM)

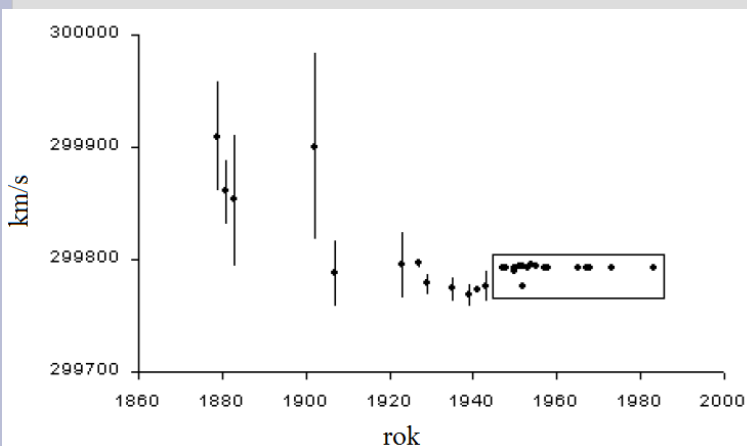
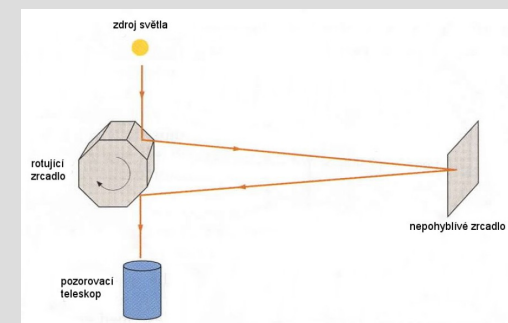
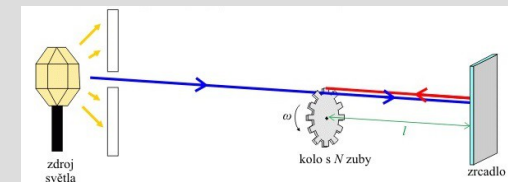
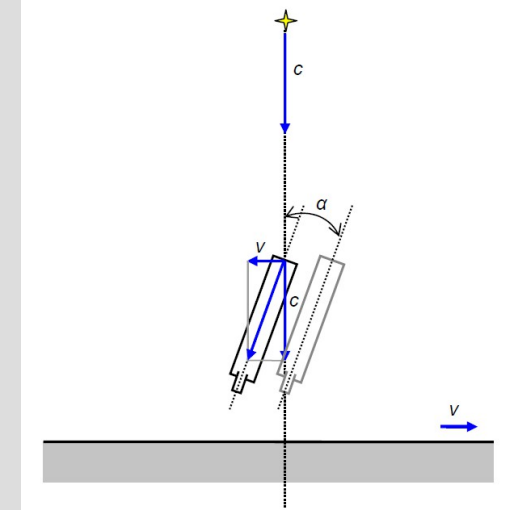
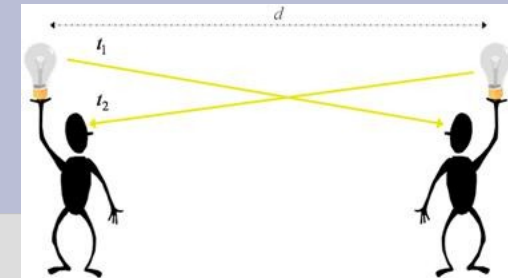
Metr je délka rovnající se 1 650 763,73 násobku vlnové délky záření, šířícího se ve vakuu, které přísluší přechodu mezi energetickými hladinami $2p_{10}$ a $5d_5$ atomu kryptonu 86.

4. definice metru (1983, 17. CGPM)

Metr je délka dráhy, kterou ve vakuu proběhne světlo za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.

METR A RYCHLOST SVĚTLA

Kdy	Kdo	Kde	experimentální metoda	rychlost (10^8 m/s)	neurčitost (m/s)	relativní odchylka od skutečné c
1600	Galileo	Itálie	lucerna s dvířky	velká	?	
1676	Roemer	Francie	Jupiterův měsíc	2,14	?	28%
1729	Bradley	Anglie	aberrace hvězd	3,08	?	2,70%
1849	Fizeau	Francie	ozubené kolo	3,14	?	4,70%
1879	Michelson	USA	rotující zrcadlo	2,9991	75000	$400 \cdot 10^6$
	Michelson	USA	rotující zrcadlo	2,99798	22000	$18 \cdot 10^6$
1950	Essen	Anglie	mikrovlnná dutina	2,997925	1000	$0,1 \cdot 10^6$
1958	Froome	Anglie	interferometr	2,997925	100	$0,1 \cdot 10^6$
1972	Evenson et al.	USA	laserová metoda	2,99792457	1,1	$2 \cdot 10^9$
	Blaney et al.	Anglie	laserová metoda	2,99792459	0,6	$3 \cdot 10^9$
	Woods et al.	Anglie	laserová metoda	2,99792459	0,2	$3 \cdot 10^9$
1983		international		2,99792458	0,0	přesně



$$X = \{X\} \cdot [X]$$

veličina = číslo · jednotka

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

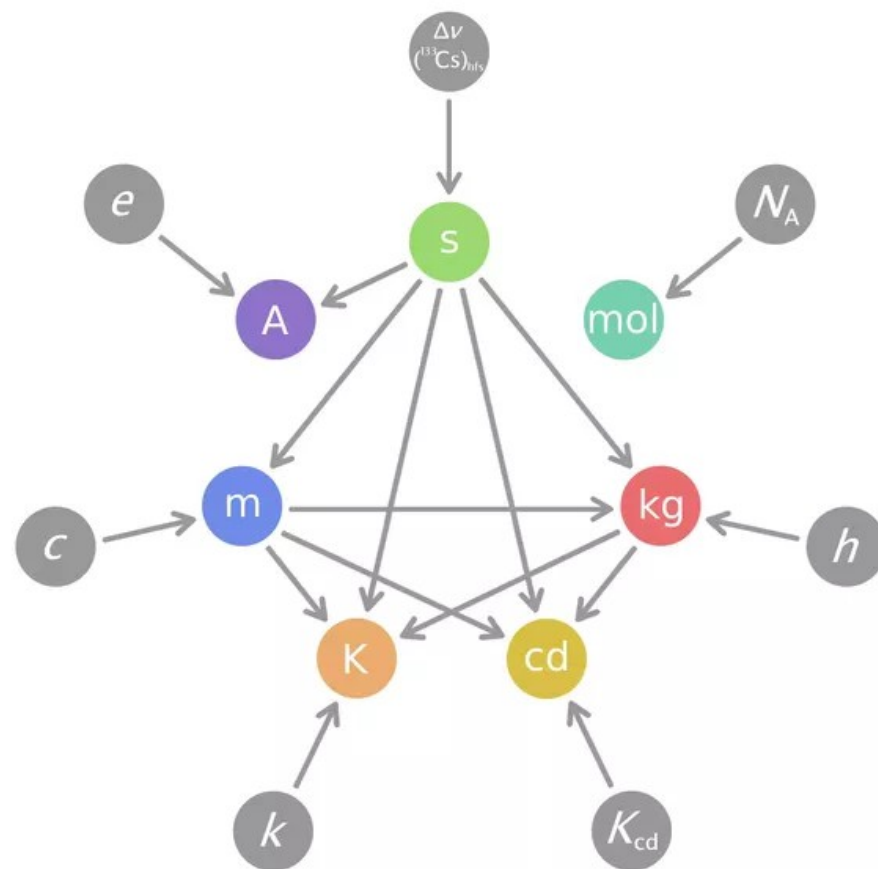
$$c = 299\,792.458 \text{ km/s}$$

$$c = 1\,079\,252\,848.8 \text{ km/h}$$

$$c \approx 1 \text{ ft/ns}$$

NOVÁ PODOBA SOUSTAVY SI (2018)

základní veličina	definující konstanta	význam konstanty a její hodnota
frekvence	ν_{Cs}	Frekvence přechodu mezi dvěma hyperjemnými hladinami základního stavu atomu ^{133}Cs . Hodnota bude přesně 9 192 631 770 Hz.
rychlost	c	Rychlost světla ve vakuu. Hodnota bude přesně 299 792 458 m·s ⁻¹
akce	h	Planckova konstanta. Hodnota bude přesně $6,626 \times 10^{-34}$ J·s.
elektrický náboj	e	Elementární náboj. Hodnota bude přesně $1,602 \times 10^{-19}$ C.
tepelná kapacita	k_{B}	Boltzmannova konstanta. Hodnota bude přesně $1,380 \times 10^{-23}$ J·K ⁻¹ .
látkové množství	N_{A}	Avogadrova konstanta. Hodnota bude přesně $6,022 \times 10^{23}$ mol ⁻¹ .
svítivost	K_{cd}	Světelná účinnost zdroje, který vysílá monochromatické záření frekvence 540×10^{12} Hz. Hodnota bude přesně 638 lumen·W ⁻¹ .

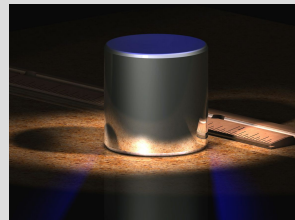
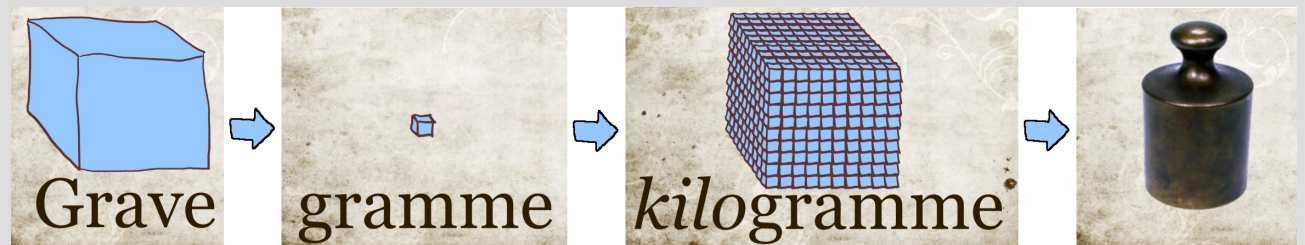
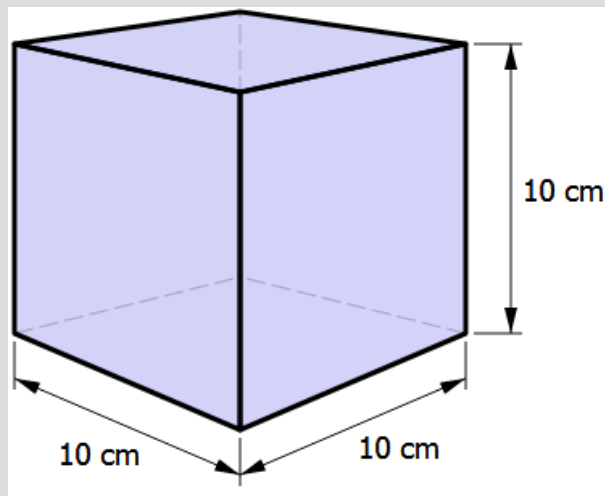


VÝVOJ KILOGRAMU PŘED SOUSTAVOU SI

definice pomocí daného objemu vody

0. definice kilogramu (1799)

Kilogram je roven váze decimetru krychlového čisté vzdušné vody při teplotě 3,98°C.



definice prostřednictvím prototypu

1. definice kilogramu (1889, 1. CGPM)

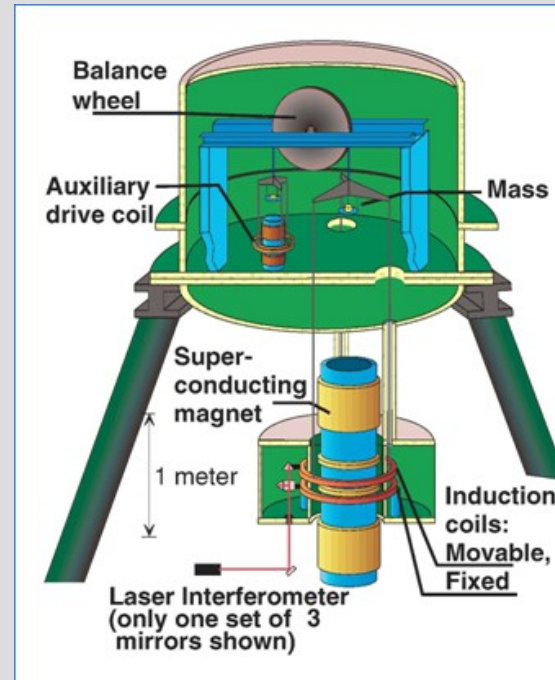
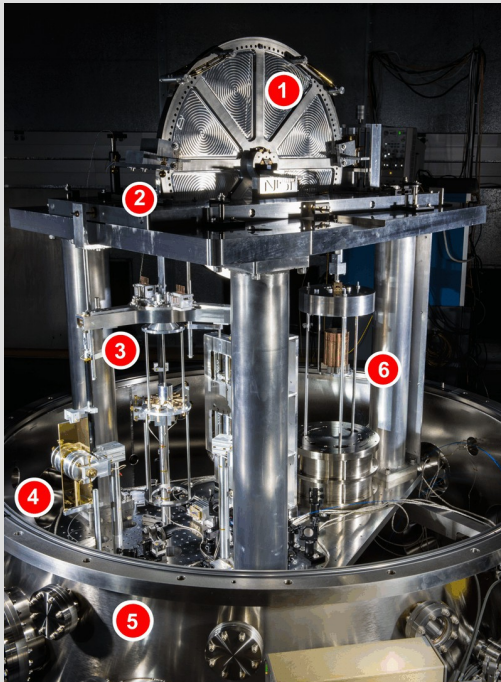
Prototyp kilogramu představuje napříště metrickou jednotku váhy.

2. definice kilogramu (1901, 3. CGPM)

Kilogram je jednotkou hmotnosti; je roven hmotnosti Mezinárodního prototypu kilogramu.

KILOGRAM A PLANCKOVA KONSTANTA

watové váhy



statická fáze: $F = mg = I \cdot \int d\vec{l} \times \vec{B}$

dynamická fáze: $U = v \cdot \int d\vec{l} \times \vec{B}$

$$U I = m g v$$

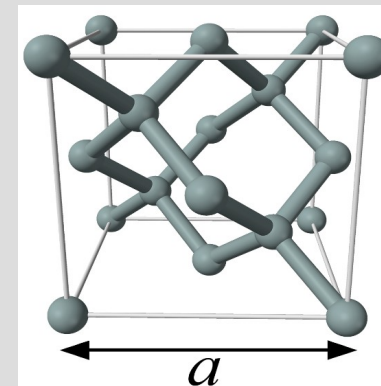
$$h = \frac{4}{p n^2} \frac{g v}{f^2} m$$

$$h = 6,626\,070\,040(81) \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

Project Avogadro



$$N_A = nM/(\rho V_0), \quad V_0 = a^3, \quad \rho = m/V$$



$$N_A = 6,022\,140\,40 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$